

LAW OFFICES OF
JACOBSON HOLMAN
PROFESSIONAL LIMITED LIABILITY COMPANY
400 SEVENTH STREET, N. W.
WASHINGTON, D. C. 20004

(202) 638-6666

YOON S. HAM
Direct: (202) 662-8483
yham@jhip.com

December 26, 2001

#2
JACOBSON HOLMAN-STERN

OF COUNSEL
MARVIN R. STERN
NATHANIEL A. HUMPHRIES

TELEFAX:
(202) 393-5350
(202) 393-5351
(202) 393-5352

E-MAIL: IFO@JHIP.COM
INTERNET: WWW.JHIP.COM

*BAR OTHER THAN D



HARVEY B. JACOBSON, JR.
JOHN CLARKE HOLMAN
SIMOR L. MOSKOWITZ
ALLEN S. MELSER
MICHAEL R. SLOBASKY
MARSHA G. GENTNER
JONATHAN L. SCHERER
IRWIN M. AISENBERG
GEORGE W. LEWIS
WILLIAM E. PLAYER
YOON S. HAM
PHILIP L. O'NEILL
LINDA J. SHAPIRO
LEESA N. WEISS
SUZIN C. BAILEY
MATTHEW J. CUCCIAS
DANIEL K. DORSEY
SUZANNAH K. SUNDBY*

Honorable Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Atty. Docket No.: P67461USO
CUSTOMER NUMBER: 00136

Sir:

Transmitted herewith for filing is the patent application in the names of:

Jeong Si KIM of Taejon, Republic of Korea;
Dong Soo HAN of Taejon, Republic of Korea; and
Chan Su YU of Taejon, Republic of Korea,

for **PARALLEL LOOP TRANSFORMATION METHODS FOR RACE DETECTION DURING AN EXECUTION OF PARALLEL PROGRAMS.** The application comprises a 17-page specification including 10 claims (2 independents) and Abstract, 5 sheets of drawings (Figs. 1-6), and a Declaration and Power of Attorney.

Accompanying this application for filing are:

- (1) Small Entity Declaration;
- (2) Assignment document, cover sheet and \$40.00 fee for recordation of Assignment;
- (3) Information Disclosure Statement, PTO-1449 Form and Copies of References; and
- (4) A certified copy of Korean Application No. 2001-73052, filed November 22, 2001, the priority of which is claimed under 35 U.S.C. §119.

The filing fee has been calculated as shown:

Small Entity		\$ 370.00
Total Claims=10;	in excess of 20 = 0 x (\$09.00) =	0.00
Total Ind. Claims=02;	in excess of 03 = 0 x (\$42.00) =	+ 0.00
TOTAL FILING FEE:		<u>\$ 370.00</u>

A check in the amount of **\$410.00**, is enclosed to cover the total Filing Fee and an Assignment Recordation Fee. The Commissioner is hereby authorized to charge payment of any fees set forth in Sections 1.16 or 1.17 during the pendency of this application, or credit any overpayment, to deposit Account No. 06-1358. A duplicate copy of this sheet is enclosed.

Respectfully submitted,

Enclosures.
YSH:ecl

By: 

Yoon S. Ham, Reg. No. 45,307



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Intellectual Property Office.

출원번호 : 특허출원 2001년 제 73052 호
Application Number PATENT-2001-0073052

출원년월일 : 2001년 11월 22일
Date of Application NOV 22, 2001

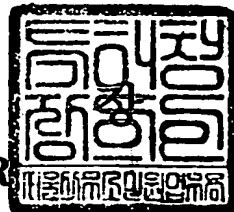
출원인 : 한국전자통신연구원
Applicant(s) KOREA ELECTRONICS & TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INST



2001 년 12 월 03 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0002
【제출일자】	2001.11.22
【발명의 명칭】	병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법
【발명의 영문명칭】	Method of parallel loop transformation for on-the-fly race detection in parallel program
【출원인】	
【명칭】	한국전자통신연구원
【출원인코드】	3-1998-007763-8
【대리인】	
【성명】	권태복
【대리인코드】	9-2001-000347-1
【포괄위임등록번호】	2001-057650-1
【대리인】	
【성명】	이화익
【대리인코드】	9-1998-000417-9
【포괄위임등록번호】	1999-021997-1
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김정시
【성명의 영문표기】	KIM, Jeong Si
【주민등록번호】	701103-2829211
【우편번호】	305-390
【주소】	대전광역시 유성구 전민동 그린빌라 201호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	한동수
【성명의 영문표기】	HAN, Dong Soo
【주민등록번호】	621201-1481216

【우편번호】 305-348
【주소】 대전광역시 유성구 화암동 58-4
【국적】 KR
【발명자】
【성명의 국문표기】 유찬수
【성명의 영문표기】 YU, Chan Su
【주민등록번호】 600201-1002225
【우편번호】 305-348
【주소】 대전광역시 유성구 화암동 58-4
【국적】 KR
【공지예외적용대상증명서류의 내용】
【공개형태】 학술단체 서면발표
【공개일자】 2001.06.27
【심사청구】 청구
【취지】 특허법 제42조의 규정에 의하여 위와 같이 출원합니다. 대리인
 권태복 (인) 대리인
 이화익 (인)
【수수료】
【기본출원료】 20 면 29,000 원
【가산출원료】 4 면 4,000 원
【우선권주장료】 0 건 0 원
【심사청구료】 10 항 429,000 원
【합계】 462,000 원
【감면사유】 정부출연연구기관
【감면후 수수료】 231,000 원
【첨부서류】 1. 요약서·명세서(도면)_1통 2. 공지예외적용대상(신규성상실의예외, 출원시의특례)규정을 적용받기 위한 증명서류_1통

【요약서】**【요약】**

본 발명에 따른 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법은 병렬 프로그램 디버깅 기술의 하나인 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 것으로 병렬 루프 몸체에 대한 정적 분석을 통해 추출한 정보를 이용하여 루프 몸체를 변형하여 경합 탐지를 위해 검사가 필요한 반복들만이 실행에서 동적으로 선택되어 감시되도록 하여 경합 탐지에 소요되는 감시 시간을 개선한 것이다. 특히 대규모의 병렬성에 의한 장시간 실행이 일반적인 특성인 병렬 루프 프로그램에서 각 병렬 루프에서 전체 반복을 감시해 오던 기존의 방법과 비교하여 볼 때, 본 발명은 각 병렬 루프의 병렬성에 무관하게 루프 몸체가 보이는 실행 경로 수의 두 배수 만을 감시하도록 하므로 경합 탐지에 소요되는 수행 시간을 현저히 줄일 수 있어 병렬 루프 프로그램에서 경합 탐지를 용이하게 하여 수행중 경합 탐지의 실용성을 높일 수 있는 것이다

【대표도】

도 2

【색인어】

병렬루프, 조건문, if문, 공유변수, 경합탐지, 실행경로, 경로분석

【명세서】**【발명의 명칭】**

병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법{Method of parallel loop transformation for on-the-fly race detection in parallel program}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 종래 기술에 따른 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지방법에 대한 동작 플로우챠트를 나타낸 도면.

도 2는 본 발명에 따른 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법에 대한 동작 플로우챠트를 나타낸 도면.

도 3은 도 2에 도시된 정적 분석 과정에 대한 상세 동작 플로우챠트를 나타낸 도면.

도 4는 도 2에 도시된 루프 생성 과정에 대한 상세 동작 플로우챠트를 나타낸 도면.

도 5는 도 2의 동작 플로우챠트에서 사용하는 자료 구조인 조건문 분기 결정 열의 구성도와 실행 경로 제어문의 예를 나타낸 도면.

도 6은 도 2에 도시된 경합 탐지 기능 설정 과정에 대한 상세 동작 플로우챠트를 나타낸 도면.

【발명의 상세한 설명】**【발명의 목적】****【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】**

- <7> 본 발명은 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법에 관한 것으로, 특히 병렬 루프(Parallel Loop) 프로그램에 대한 디버깅 기술의 한 가지인 경합 탐지(Race Detection)기술에 관한 것이다.
- <8> 공유 메모리 다중 처리기 컴퓨터를 위한 병렬 프로그램 개발은 순차 프로그램 개발과 비교하여 여러 가지 어려운 점을 가지고 있다.
- <9> 이러한 어려움의 주된 원인들로는 프로그램 작성의 복잡성과 병렬 프로그램 고유의 병렬 오류들에 대한 디버깅 기술 부재 등이 지적되고 있다.
- <10> 본 발명이 대상으로 하는 경합 탐지는 병렬 오류들 중에서 경합에 대한 디버깅 기술이다. 경합은 비결정적인 프로그램수행을 유발하여 수행의 반복성을 보장하지 못하므로 기본적인 디버깅 정지점(Breakpoint)에 기반으로 하는 순환 디버깅의 적용 조차 어렵게 하는 가장 다루기 어려운 병렬 오류의 하나로 지적되어 오고 있다.
- <11> 경합을 디버깅하기 위하여 프로그램에서 경합을 탐지해 내기 위한 다양한 기술들이 제시되어 왔다. 이들 중에서 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지는 디버깅 대상 프로그램의 수행 진행 중에 경합의 발생을 탐지하여 보고하는 기술로 실행 시점에 민감한 경합의 특성으로 볼 때, 가장 효과적인 기술로 평가되고 있다.

<12> 병렬 프로그램 수행 중 경합 탐지에 대한 현재 기술들은 프로그램 수행 전체에 소프트웨어 모니터링 장치를 설치하여 프로그램 수행과 더불어 경합 탐지에 필요한 처리와 검사를 병행하게 되어 있다. 그런데, 대규모 병렬성에 의해 장시간의 수행이 요구되는 병렬 프로그램의 특성과 소프트웨어 모니터링에서 피할 수 없는 엄청난 수행 시간 팽창의 유발은 현재 수행중 경합 탐지 기술들의 실용화를 어렵게 하는 문제점이 되고 있다. 특히 병렬 프로그램에서 가장 활용도가 높은 병렬 루프는 전체 프로그램 수행 시간이 대부분을 소요하는 곳으로 병렬 루프에 대한 수행 중 경합 탐지 기술들의 효율성 향상에 대한 연구들이 집중되어 왔다.

<13> 이하, 도 1을 참조하여 종래 기술에 따른 병렬 루프에 대한 경합 탐지 방법에 대하여 간단하게 살펴보자.

<14> 도 1은 종래 기술에 따른 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지방법에 대한 동작 플로우챠트를 나타낸 도면이다.

<15> 먼저, 병렬 프로그램 수행 이전에 각 병렬 루프에 대하여 해당 병렬 루프의 모든 반복들이 수행 시점에 경합 탐지를 위한 검사가 동작되어 감시될 수 있도록 경합 탐지 기능을 설정한 후(S101), 프로그램을 실행하여 경합 탐지가 이루어지도록 구성된다(S102).

<16> 일반적으로 수천 또는 수만 이상의 반복이 동시에 수행되는 것이 일반적인 병렬루프에 상기와 같은 방법에 의한 종래의 경합 탐지 기술에서 초래되는 장시간의 수행으로 인한 성능 저하를 피할 수 없는 문제점이 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<17> 따라서, 본 발명은 상기한 종래 기술에 따른 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로 본 발명의 목적은, 효율적인 경합 탐지를 위해 병렬 프로그램 수행에서 경합 탐지에 의한 감시 대상을 최소화하기 위한 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법을 제공함에 있다.

【발명의 구성 및 작용】

<18> 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법은, 경합 탐지를 위해서는 최대 병렬성에 무관하게 동일한 실행 경로에 대한 두 번의 감시로 충분한데 반해 기존 기술들은 각 병렬 루프의 수행에서 각 루프 몸체가 제한된 아주 작은 수의 실행 경로를 보임에도 불구하고 각 루프가 허용하는 전체 반복 수 만큼의 수행을 중복적으로 감시하여 발생하는 불필요한 감시에 소요되는 시간을 최소화함으로써 가능한 것이다.

<19> 따라서, 본 발명은 원래의 병렬 루프를 전체 반복에서 경합 탐지를 위해 감시되어야 하는 반복들이 수행중에 동적으로 구분될 수 있는 병렬 루프 수행을 유

도할 수 있는 병렬 루프로 변형하는 것이다. 이러한 변형에 필요한 정보들을 얻어내기 위하여 병렬 루프에 대한 정적 분석 기술과 병렬루프에 경합 탐지 장치가 감시 대상이 되는 반복들에만 동작으로 활성화되도록 하는 기술 또한 병행 되어야 한다.

<20> 본 발명에 따른 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법의 일 측면에 따르면, 병렬 루프 프로그램을 대상으로 프로그램 수행중 경합 탐지에서 병렬 루프를 모든 경합 포함 루프로 변형하고, 이를 대상으로 경합을 탐지하는 방법에 있어서, 병렬 루프를 입력으로 하여 루프 변형에 필요한 조건문 분기 결정 열 Cstr의 자료 구조를 생성하고 실행 경로 정보를 추출하는 정적 분석 단계; 상기 정적 분석 단계에서 생성된 조건문 분기 결정 열 Cstr의 자료 구조와 상기 추출된 실행 경로 정보를 이용하여 병렬 루프를 모든 경합 포함 루프로 변형하는 병렬 루프 변형 단계; 상기 병렬 루프 변형 단계에서 생성되는 변형된 병렬 루프의 필요한 반복들에만 경합 기능이 활성화되도록 경합 탐지 기능을 설정하는 경합 탐지 기능 설정 단계; 상기 경합 탐지 기능 설정 단계에서 경합 탐지 기능이 설정되면 설정된 탐지기능에 따라 병렬 프로그램 실행중 경합 탐지를 수행하는 단계를 포함한다.

<21> 상기 정적 분석 단계는, 한 개의 병렬 루프에 대해 한 개의 Cstr 자료 구조 생성을 위해 각 병렬 루프 몸체의 각 문을 순차적으로 입력받는 단계; 상기 입력된 문이 if 문일 경우 해당 if문에 대하여 참 또는 거짓값을 저장할 수 있는 비트 변수를 할당하는 단계; 상기 비트 변수가 할당되면, 임의의 경로 분석기를

통해 각 병렬 루프에 대한 Cstr 자료 구조와 실행 경로 수를 추출하는 단계를 포함한다.

<22> 또한, 상기 병렬 루프 변형 단계는, 루프 몸체의 새로운 문이 입력되면, 입력되는 문이 첫 번째 문인지를 판단하는 단계; 입력되는 새로운 문이 첫 번째 문일 경우, 이 문에 앞서 병렬루프에 대한 경합 탐지가 중복된 감시를 최소화할 수 있도록 그 수행에서 각 반복이 의도한 실행 경로를 가지도록 제어하는 역할을 하는 적절한 Cstr값을 각 반복에 동적으로 할당하는 실행 경로 제어문을 삽입하는 단계; 실행 경로 제어문이 삽입되면, 현재 문에 대해 if 조건문 유무를 검사하여 if 조건문일 경우에는 이 조건문의 조건식(C1)을 $(Cstr[c_con_bit].eq>1) \wedge ((\neg C1) \vee C1)$ 으로 치환하는 단계; 현재 입력되는 문이 마지막 문이 아닐 경우 마지막문이 입력될 때까지 상기의 동작을 반복하는 단계를 포함한다. 여기서, 상기 현재 문이 if 문이 아닐 경우에는 그대로 그 입력문은 유지하고 마지막 문까지 상기 과정을 반복해서 임의 병렬루프를 모든 경합 포함 루프로 변형한다.

<23> 상기 실행 경로 제어문은, 각 반복의 현재 루프 제어 변수 값을 이용하여 현재 반복에 의해 수행될 루프 몸체의 실행 경로 결정에 이용될 Cstr 값이 결정되고, 상기 치환된 조건식은 원형 조건식의 시멘틱(Semantic)을 그대로 보존하면서 현재 조건식에 대응되는 Cstr 값으로 현재 조건문의 분기를 결정한다.

<24> 또한, 경합 탐지 기능 설정 단계는, 변형된 병렬 루프에 적절한 경합 탐지 기능을 설정하기 위해 새로운 문이 입력되면 입력된 문이 병렬 루프 시작 또는 종료문인지를 판단하는 단계; 상기 판단 결과 입력되는 문이 시작과 종료문일 경

우 마지막 문이 입력될 때까지 각각 이 문들의 뒤와 앞에 실행 경로의 두 배수 이하 반복에서만 동작하는 레이블 생성문과 종료문을 각각 설정하여 삽입하는 단계를 포함하고, 상기 입력된 문이 병렬 루프의 시작과 종료문이 아닌 경우에는, 현재 문이 공유 변수에 대한 접근 사건을 포함하고 있는지를 검사하는 단계; 상기 검사 결과, 현재 문이 공유 변수에 대한 접근 사건을 포함하고 있다면, 마지막 문이 입력될 때까지 이들 접근 사건이 경합 참여 여부를 검사하는 문을 실행 경로의 두 배수 이하 반복에서만 동작하도록 설정하여 삽입하는 단계를 포함한다.

<25> 한편, 본 발명에 따른 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법을 수행하기 위하여 디지털 처리장치에 의해 실행될 수 있는 명령어들의 프로그램이 유형적으로 구현되어 있으며, 디지털 처리장치에 의해 판독될 수 있는 기록 매체의 일 측면에 따르면, 병렬 루프를 입력으로 하여 루프 변형에 필요한 조건문 분기 결정 열 Cstr의 자료 구조를 생성하고 실행 경로 정보를 추출하는 정적 분석 단계; 상기 정적 분석 단계에서 생성된 조건문 분기 결정 열 Cstr의 자료 구조와 상기 추출된 실행 경로 정보를 이용하여 병렬 루프를 모든 경합 포함 루프로 변형하는 병렬 루프 변형 단계; 상기 병렬 루프 변형 단계에서 생성되는 변형된 병렬 루프의 필요한 반복들에만 경합 기능이 활성화되도록 경합 탐지 기능을 설정하는 경합 탐지 기능 설정 단계; 상기 경합 탐지 기능 설정 단계에서 경합 탐지 기능이 설정되면 설정된 탐지기능에 따라 병렬 프로그램 실행중 경합 탐지를 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

- <26> 이하, 본 발명에 따른 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법에 대한 바람직한 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 상세하게 살펴보기로 하자.
- <27> 도 2는 본 발명에 따른 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법에 대한 동작 플로우챠트를 나타낸 도면이다.
- <28> 먼저, 각 병렬 루프를 입력으로 루프 몸체에 대한 정적 분석을 통해 병렬 루프 변형에 필요한 정보들을 추출한다(S210).
- <29> 병렬 루프 병형에 필요한 정보들이 추출되면, 추출된 정보와 병렬 루프를 입력으로 하여 변형된 병렬 루프를 생성하게 된다(S220).
- <30> 이때, 병렬 루프내 각 문(Statement)들은 모든 경합 포함 루프를 생성한 후, 경합 탐지 기능을 설정하게 된다. 즉, 변형된 병렬 루프가 실제 수행을 통해 경합 탐지를 위한 감시가 가능하도록 필요한 경합 탐지 기능을 설정하는데 (S230), 이 단계는 일반적인 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지 기술에서 공통적으로 이용하는 것이지만 본 발명에서는 이 단계에서 설정된 경합 탐지 기능이 병렬 루프 몸체 실행 경로 두 배수의 반복에만 활성화되도록 하는 기술을 추가하였다.
- <31> 이와 같이 실행 경로수의 두 배수 반복에 대한 경합 탐지 기능이 설정되면, 마지막으로 경합 탐지 기능이 설정된 변형된 병렬 루프 프로그램을 실행하여 경합을 탐지하게 되는 것이다(S240).

- <32> 여기서, 상기한 S210단계 즉, 각 병렬 루프 몸체에 대한 정적 분석 단계의 동작에 대하여 도 3을 참조하여 좀 더 상세하게 기술하도록 해 보자,
- <33> 도 3은 도 2에 도시된 S210단계(정적 분석 단계)의 상세 동작 플로우차트를 나타낸 도면이다.
- <34> 먼저, 병렬 루프에 포함된 각 문들을 입력하여(S211), 현재 분석되는 문이 if문인지를 판단하게 된다(S212).
- <35> 상기 판단 결과, 현재 분석되는 문이 if 문일 경우, 조건문 분기 결정열 Cstr을 위한 자료 구조에 이 조건문을 위한 공간을 할당하게 된다(S213).
- 여기서, 상기 Cstr은 수행되는 병렬 루프 반복들에서 경합 탐지를 위해 감시가 필요한 실행 경로를 갖는 반복들이 예측 가능한 패턴으로 나타나게 하기 위해 병렬 루프 몸체에서 이러한 실행 경로를 결정하게 되는 if 조건문들의 조건식 값들을 제어하는 역할을 수행한다. 즉, Cstr에 새로운 조건문을 위한 비트(Bit)를 추가하게 되는 것이다.
- <36> 상기한 Cstr의 상세 구조에 대하여 도 5를 참조하여 살펴보자. 도 5는 도 3 및 도 4의 동작 플로우차트에서 사용하는 자료 구조인 조건문 분기 결정 열의 구성도와 실행 경로 제어문의 예를 나타낸 도면이다.
- <37> 도 5를 참조하면, 각각의 병렬 루프마다 한 개씩 유지하는 Cstr은 해당 병렬 루프 내 각 조건문마다 한 개의 비트를 두고 조건식 값인 참이나 거짓을 표현할 수 있도록 한다. 이러한 처리를 거친 문은 경로 분석기에 입력하여(S214) 루프 몸체에 대한 실행 경로 수를 분석 과정에 이용하게 되는 것이다.

- <38> 만약, 상기 S212단계에서, 현재 분석되는 문이 if 조건문이 아닐 경우 바로 경로 분석기에 입력하도록 한다.
- <39> 이어, 현재 분석되는 문이 마지막 문인지를 판단하고(S215), 만약 현재 분석되는 문이 마지막문이 아닐 경우에는 상기와 동일한 방법으로 경로 분석을 수행하고, 반대로 현재 분석되는 문이 마지막 문일 경우에는 Cstr 정보와 실행 경로 수를 출력한다(S216). 즉, 병렬 루프의 마지막 문을 만날 때까지 경로 분석을 반복한 후, 최종적으로 Cstr 정보와 실행 경로 수를 출력함으로써, 병렬 루프 변형에 필요한 정보들을 추출하게 되는 것이다.
- <40> 이어, 도 2에 도시된 S220 단계 즉, 각 병렬 루프의 모든 경합 포함 루프 생성 단계에 대하여 도 4를 참조하여 좀 더 상세하게 설명해 보자.
- <41> 도 4는 도 2에 도시된 S220단계(루프 생성 단계)에 대한 상세 동작 플로우 차트를 나타낸 도면이다.
- <42> 도 3과 같은 방법으로 각 병렬 루프 몸체에 대한 정적 분석이 완료되면, 병렬 루프 몸체의 각 문들을 입력 받고(S221), 입력된 문이 첫 번째 문인지를 판단하다(S222).
- <43> 판단 결과, 입력된 문이 첫 번째 문일 경우, 이 문에 앞서 실행 경로 제어 문을 삽입한다(S223). 실행 경로 제어문은 병렬루프에 대한 경합 탐지가 중복된 감시를 최소화할 수 있도록 그 수행에서 각 반복이 의도한 실행 경로를 가지도록 제어하는 역할을 하는 적절한 Cstr값을 각 반복에 동적으로 할당하는 문이다.

- <44> 실행 경로 제어문의 기본적인 형태는 도 5에 도시된 바와 같다. 즉, 각 반복의 현재 루프 제어 변수 값을 이용하여 현재 반복에 의해 수행될 루프 몸체의 실행 경로 결정에 이용될 Cstr 값이 결정되고 있다. 이러한 과정은 현재 문이 첫 번째 문일 경우에만 필요하다.
- <45> 상기한 S223 단계를 거친 후, 현재 문에 대해 if 조건문 유무를 검사하게 된다(S224). 한편, 상기 S222 단계에서 현재 입력된 문이 첫 번째 문이 아닐 경우에는 S223 단계를 거치지 않고 바로 S224 단계로 전환되는 것이다.
- <46> 상기 S224 단계에서, if 조건문일 경우에는 이 조건문의 조건식(C1)을 $(Cstr[c_con_bit].eq>1) \wedge ((\neg C1) \vee C1)$ 으로 치환하게 된다(S225).
- <47> 이와 같은 새로운 조건식은 원형 조건식의 시멘틱(Semantic)을 그대로 보존하면서 현재 조건식에 대응되는 Cstr 값으로 현재 조건문의 분기를 결정하게 되는 것이다.
- <48> 이어, 현재 입력되는 문이 마지막 문인지를 판단하여(S226), 현재 입력되는 문이 마지막 문이 아닐 경우에는 마지막 문이 입력될 때까지 상기와 동일한 과정을 수행한 후, 임의 병렬루프를 모든 경합 포함 루프로 변형하게 되는 것이다.
- <49> 그러나, 상기 S224 단계에서 현재 문이 if 문이 아닐 경우에는 그대로 그 문은 유지하고 마지막 문까지 이 과정을 반복해서 임의 병렬루프를 모든 경합 포함 루프로 변형하게 되는 것이다.
- <50> 한편, 도 2에 도시된 경합 탐지 기능 설정 과정에 대한 상세 동작을 도 6을 참조하여 단계적으로 살펴보기로 하자.

- <51> 도 6은 도 2에 도시된 S230단계(경합 탐지 기능 설정 단계)에 대한 상세 동작 플로우챠트를 나타낸 도면이다.
- <52> 먼저, 이 과정은 도 4에서 설명한 모든 경합 포함 루프 생성 과정과 병행하여 동작할 수 있는 과정으로, 변형된 병렬 루프에서 감시되도록 의도한 반복들에 대해서만 경합 탐지가 활성화되도록 하여 실질적인 본 발명의 효과를 얻을 수 있도록 하는 것이다.
- <53> 도 6에 도시된 바와 같이 경합 탐지 기능 설정 과정은, 병렬 루프의 각 문이 입력되면(S231), 입력된 현재 문이 병렬 루프 시작과 종료문인지를 판단한다(S232).
- <54> 상기 판단 결과, 현재 입력되는 문이 병렬 루프의 시작과 종료문인 경우 각각 이 문들의 뒤와 앞에 실행 경로의 두 배수 이하 반복에서만 동작하는 레이블 생성문과 종료문을 각각 설정하여 삽입하게 된다(S233). 여기서, 어떠한 종류의 레이블 생성문과 종료문을 사용할 것인지는 본원 발명과 무관하며, 이에 해당하는 기존의 기술들이 활용될 수 있다.
- <55> 한편, 상기 S232 단계에서, 입력되는 새로운 문이 병렬 루프의 시작과 종료문이 아닌 경우에는 현재 문이 공유 변수에 대한 접근 사건을 포함하고 있는지를 검사하게 된다(S234).
- <56> 상기 검사 결과, 현재 문이 공유 변수에 대한 접근 사건을 포함하고 있다면, 이들 접근 사건이 경합 참여 여부를 검사하는 문을 실행 경로의 두 배수 이하 반복에서만 동작하도록 설정하여 삽입한다(S235).

<57> 이어, 현재 입력되는 문이 마지막 문인지를 판단하고(S236), 판단 결과, 현재 입력되는 문이 마지막 문일 경우에는 경합 탐지 기능 설정 과정을 종료하고, 반대로 마지막 문이 아닐 경우에는 마지막 문이 입력될 때까지 상기와 같은 방법을 이용하여 경합 탐지 기능 설정 과정을 수행하게 되는 것이다.

【발명의 효과】

<58> 상기한 바와 같은 본 발명에 따른 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법은 병렬 프로그램 디버깅 기술의 하나인 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 것으로 병렬 루프 몸체에 대한 정적 분석을 통해 추출한 정보를 이용하여 루프 몸체를 변형하여 경합 탐지를 위해 검사가 필요한 반복들만이 실행에서 동적으로 선택되어 감시되도록 하여 경합 탐지에 소요되는 감시시간을 개선한다. 특히 대규모의 병렬성에 의한 장시간 실행이 일반적인 특성인 병렬 루프 프로그램에서 각 병렬 루프에서 전체 반복을 감시해 오던 기존의 방법과 비교하여 볼 때, 본 발명은 각 병렬 루프의 병렬성에 무관하게 루프 몸체가 보이는 실행 경로 수의 두배수 만을 감시하도록 하므로 경합 탐지에 소요되는 수행 시간을 현저히 줄일 수 있어 병렬 루프 프로그램에서 경합 탐지를 용이하게 하여 수행중 경합 탐지의 실용성을 높일 수 있는 것이다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

병렬 루프 프로그램을 대상으로 프로그램 수행중 경합 탐지에서 병렬 루프를 모든 경합 포함 루프로 변형하고, 이를 대상으로 경합을 탐지하는 방법에 있어서,

병렬 루프를 입력으로 하여 루프 변형에 필요한 조건문 분기 결정 열 Cstr의 자료 구조를 생성하고 실행 경로 정보를 추출하는 정적 분석 단계;

상기 정적 분석 단계에서 생성된 조건문 분기 결정 열 Cstr의 자료 구조와 상기 추출된 실행 경로 정보를 이용하여 병렬 루프를 모든 경합 포함 루프로 변형하는 병렬 루프 변형 단계;

상기 병렬 루프 변형 단계에서 생성되는 변형된 병렬 루프의 필요한 반복들에만 경합 기능이 활성화되도록 경합 탐지 기능을 설정하는 경합 탐지 기능 설정 단계;

상기 경합 탐지 기능 설정 단계에서 경합 탐지 기능이 설정되면 설정된 탐지기능에 따라 병렬 프로그램 실행중 경합 탐지를 수행하는 단계를 포함하는 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법.

【청구항 2】

제1항에 있어서,

상기 정적 분석 단계는,

한 개의 병렬 루프에 대해 한 개의 Cstr 자료 구조 생성을 위해 각 병렬 루프 몸체의 각 문을 순차적으로 입력받는 단계;

상기 입력된 문이 if 문일 경우 해당 if문에 대하여 참 또는 거짓값을 저장할 수 있는 비트 변수를 할당하는 단계;

상기 비트 변수가 할당되면, 임의의 경로 분석기를 통해 각 병렬 루프에 대한 Cstr 자료 구조와 실행 경로 수를 추출하는 단계를 포함하는 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법.

【청구항 3】

제1항에 있어서,

상기 병렬 루프 변형 단계는,

루프 몸체의 새로운 문이 입력되면, 입력되는 문이 첫 번째 문인지를 판단하는 단계;

입력되는 새로운 문이 첫 번째 문일 경우, 이 문에 앞서 병렬 루프에 대한 경합 탐지가 중복된 감시를 최소화할 수 있도록 그 수행에서 각 반복이 의도한 실행 경로를 가지도록 제어하는 역할을 하는 적절한 Cstr값을 각 반복에 동적으로 할당하는 실행 경로 제어문을 삽입하는 단계;

실행 경로 제어문이 삽입되면, 현재 문에 대해 if 조건문 유무를 검사하여 if 조건문일 경우에는 이 조건문의 조건식($C1$)을 $(Cstr[c_con_bit].eq>1) \wedge ((\neg C1) \vee C1)$ 으로 치환하는 단계;

현재 입력되는 문이 마지막 문이 아닐 경우 마지막문이 입력될 때까지 상기의 동작을 반복하는 단계를 포함하는 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법.

【청구항 4】

제3항에 있어서,

상기 현재문이 if 문이 아닐 경우에는 그대로 그 입력문은 유지하고 마지막 문까지 상기 과정을 반복해서 임의 병렬루프를 모든 경합 포함 루프로 변형하는 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법.

【청구항 5】

제3항에 있어서,

상기 실행 경로 제어문은,

$p = (I / \text{strike}) \bmod k;$

if(p. eq. 0)

Cstr=(0)₂

else if(p. eq. 1)

Cstr=(1)₂;

```
else if(p. eq. K-1)
```

```
Cstr=(K-1)2;
```

```
endif
```

,where I is loop control variable

and k is the number of paths in a loop

【청구항 6】

제3항 또는 제5항에 있어서,

상기 실행 경로 제어문은, 각 반복의 현재 루프 제어 변수 값을 이용하여 현재 반복에 의해 수행될 루프 몸체의 실행 경로 결정에 이용될 Cstr 값이 결정되는 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법.

【청구항 7】

제3항에 있어서,

상기 치환된 조건식은 원형 조건식의 시맨틱(Semantic)을 그대로 보존하면서 현재 조건식에 대응되는 Cstr 값으로 현재 조건문의 분기를 결정하는 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법.

【청구항 8】

제1항에 있어서,

경합 탐지 기능 설정 단계는,

변형된 병렬 루프에 적절한 경합 탐지 기능을 설정하기 위해 새로운 문이 입력되면 입력된 문이 병렬 루프 시작 또는 종료문인지를 판단하는 단계;

상기 판단 결과 입력되는 문이 시작과 종료문일 경우 마지막 문이 입력될 때까지 각각 이 문들의 뒤와 앞에 실행 경로의 두 배수 이하 반복에서만 동작하는 레이블 생성문과 종료문을 각각 설정하여 삽입하는 단계를 포함하는 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법.

【청구항 9】

제8항에 있어서,

상기 입력된 문이 병렬 루프의 시작과 종료문이 아닌 경우에는, 현재 문이 공유 변수에 대한 접근 사건을 포함하고 있는지를 검사하는 단계;

상기 검사 결과, 현재 문이 공유 변수에 대한 접근 사건을 포함하고 있다면, 마지막 문이 입력될 때까지 이들 접근 사건이 경합 참여 여부를 검사하는 문을 실행 경로의 두 배수 이하 반복에서만 동작하도록 설정하여 삽입하는 단계를 포함하는 병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법.

【청구항 10】

병렬 프로그램 수행중 경합 탐지를 위한 병렬 루프 변형 방법을 수행하기 위하여 디지털 처리장치에 의해 실행될 수 있는 명령어들의 프로그램이 유형적으로 구현되어 있으며, 디지털 처리장치에 의해 판독될 수 있는 기록 매체에 있어서,

병렬 루프를 입력으로 하여 루프 변형에 필요한 조건문 분기 결정 열 Cstr의 자료 구조를 생성하고 실행 경로 정보를 추출하는 정적 분석 단계;

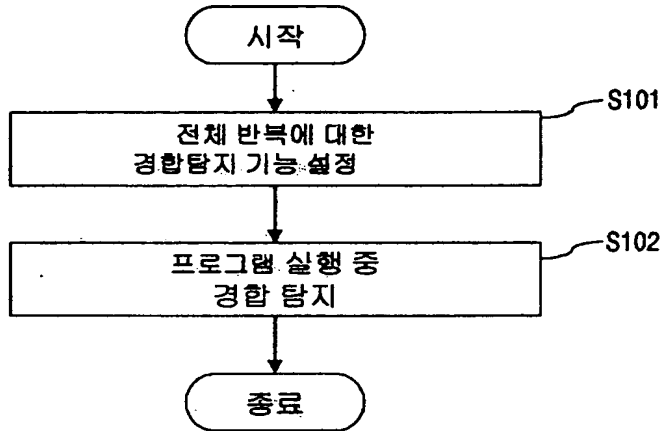
상기 정적 분석 단계에서 생성된 조건문 분기 결정 열 Cstr의 자료 구조와 상기 추출된 실행 경로 정보를 이용하여 병렬 루프를 모든 경합 포함 루프로 변형하는 병렬 루프 변형 단계;

상기 병렬 루프 변형 단계에서 생성되는 변형된 병렬 루프의 필요한 반복들에만 경합 기능이 활성화되도록 경합 탐지 기능을 설정하는 경합 탐지 기능 설정 단계;

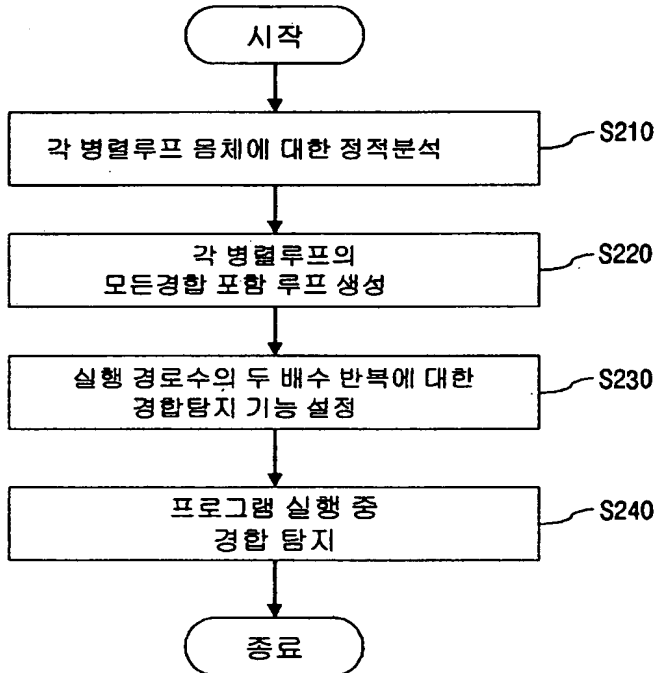
상기 경합 탐지 기능 설정 단계에서 경합 탐지 기능이 설정되면 설정된 탐지기능에 따라 병렬 프로그램 실행중 경합 탐지를 수행하는 단계를 포함하는 기록 매체.

【도면】

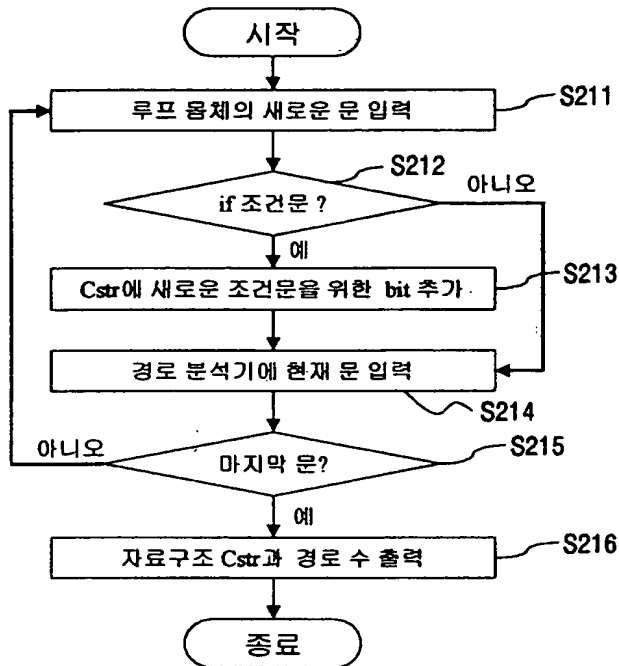
【도 1】



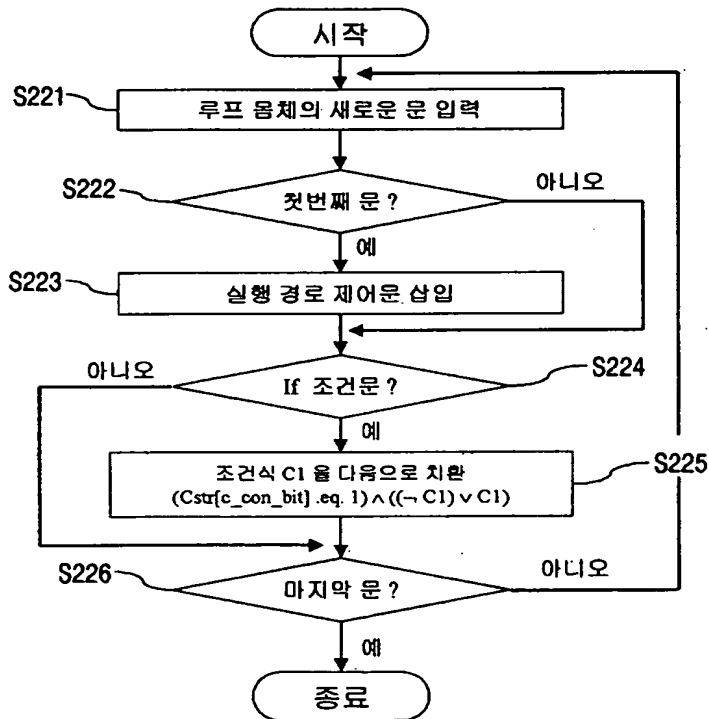
【도 2】



【도 3】

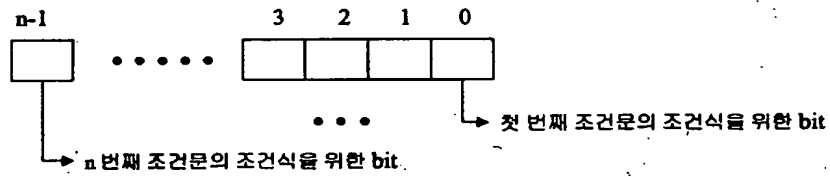


【도 4】



【도 5】

Cstr (조건문 분기 결정 열) 자료구조 구성



실행 경로 제어문의 구성

```

p = (I / stride) mod k ;
if ( p .eq. 0)
  Cstr = (0)2 ;
else if ( p .eq. 1)
  Cstr = (1)2 ;
  :
  :
else if ( p .eq. K-1)
  Cstr = (k-1)2 ;
endif
,where I is loop control variable
and k is the number of paths in a loop

```

【도 6】

